أثر النشاط البشري على الأرض

للدكتور
إبراهيم بن سليمان الأحيدب
الأستاذ المساعد في قسم الجغرافيا
بكلية العلوم الاجتماعية بالرياض
جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

مقدمة

يزاول الإنسان منذ أن وجد على سطح الأرض نشاطات مختلفة زراعية وصناعية وعمرانية من أجل البقاء، والعيش برفاهية، وعمارة الأرض التي استخلفه الله عليها. وقد نجح في استخراج الثروات الطبيعية التي أوجدها الله في باطن الأرض من ماء وبترول وذهب وفضة وحديد وفحم وملح وغيرها من الثروات والكنوز المطمورة في الأرض. وازداد نشاط الإنسان بازدياد تقدمه وتطوره الحضاري والعلمي، فانتشر على سطح الأرض وغيّر كثيراً من ملامحها فقطع الغابات وحوَّلها إلى مناطق زراعية أو مناطق جرداء، وحول عدداً من المناطق الجرداء القاحلة إلى مناطق زراعية خضراء، وأقام مدناً ومباني ومنشآت ضخمة على سطح الأرض.

إن ما يقوم به الإنسان من أعمال على سطح الأرض له آثار إيجابية وأخرى سلبية، فهذه الأعمال تؤدي إلى سعادته ورفاهيته وازدهاره، ولكن قد يكون لها آثار سلبية تهدده هو وممتلكاته والكائنات الحية الأخرى الموجودة بالقرب من مكان النشاط. فنتيجة لنشاط الإنسان المستمر على سبيل المثال - انخفضت وتصدعت بعض الأراضي في المناطق الزراعية والبترولية ومناطق التعدين. كما انهارت عدة سدود في أماكن مختلفة من العالم، ذهب ضحيتها عدد من البشر والحيوانات وكانت مصدر خطر على المناطق القريبة منها. كذلك وقعت هزّات أرضية بسبب حقن باطن الأرض بمخلفات المصانع الملوثة، أو لضخامة كميات المياه التي تجمعت خلف السدود بعد سقوط الأمطار، ومثل هذه الهزات قد تكون سبباً في انهيار المباني والسدود والمنشآت القريبة منها.

ويهدف هذا البحث إلى تعريف القارىء في الوطن العربي ببعض الآثار السلبية للنشاط البشري العشوائي الذي لا يقوم على التخطيط والدراسة السليمة، والذي قد

يكون مصدر خطر على الإنسان والكائنات الحية الأخرى. ويستعرض البحث بعض الحوادث التي وقعت في مناطق مختلفة من العالم ويناقش أسبابها والآثار التي تركتها لأخذ عبر ودروس منها ولتذكير المخططين وأصحاب القرارات في الوطن العربي بالآثار الخطيرة التي تأتي نتيجة لاستغلال الثروات الطبيعية المختلفة ـ التي أودعها الله في باطن الأرض ـ بشكل استنزافي غير مخطط. أو نتيجة لإقامة مشاريع ومنشآت ومباني لا تتناسب مع الطبيعة الجيولوجية والجغرافية للمناطق التي تقام عليها هذه المشروعات. ويتناول البحث الموضوعات التالية:

- الهبوط والانهيارات الأرضية التي تحدث نتيجة لاستخراج الثروات الطبيعية السائلة والصلبة الكامنة في باطن الأرض.
- الزلازل والهزات الأرضية التي تحدث في باطن الأرض نتيجة لحقن المياه الملوثة، أو لوجود كميات كبيرة من المياه خلف السدود، أو نتيجة للتفجيرات النووية في باطن الأرض.

وختاماً، أسأل الله التوفيق.

أسباب الانخفاضات الأرضية والفتحات على سطح الأرض: Causes of Subsidence Surface and Sinkholes

ينخفض مستوى سطح الأرض وكذلك تظهر الفتحات والشقوق على سطحها نتيجة لعوامل طبيعية ليس للإنسان دخل في حدوثها، ولعوامل بشرية، وهي التي تحدث نتيجة لنشاط الإنسان المختلف.

من العوامل الطبيعية التي تؤثر في سطح الأرض الأمطار الغزيرة، والتذبذب في مستوى المياه الجوفية، وحدوث الزلازل(١). وتأكسد المواد الرسوبية، وصغر حجمها نتيجة للجفاف ولتأثير عوامل التعرية(٢). وتحدث الانخفاضات والفتحات الأرضية نتيجة لذوبان الأحجار الرملية والكلسية وغيرها من المواد المكونة للأرض بسبب جريان المياه خلالها(٣). وتنخفض الأرض وتتشقق أيضاً لعوامل بشرية مختلفة كاستخراج المواد السائلة الباطنية كالماء والغاز والبترول(٤).

وكذلك تنخفض الأرض نتيجة لاستخراج المواد الطبيعية الصلبة من باطن الأرض كالحديد، والفحم، والملح وغيرها من المواد الصلبة(٥). وتنخفض أيضاً نتيجة لغمر المنطقة بكميات كبيرة من المياه وخاصة في المناطق التي ردمت بالتراب(٦)، أو لتغيير مجاري الأمطار والسيول عن مجراها الطبيعي(٧)، وقد تحدث الانخفاضات أيضاً نتيجة لري وسقي المزارع والحدائق بالمياه وانكسار أنابيب المياه والمجاري الموجودة في المنطقة(٨). وكذلك قد تحدث الانخفاضات والانكسارات والشقوق الأرضية نتيجة لإقامة المشاريع والمباني الضخمة(٩). ويمكن تلخيص أسباب عملية الهبوط والانهيارات الأرضية كما يلي:

* إن انخفاض مستوى المياه الباطنية يؤدي إلى اختلاف التدرج في المياه ثم إلى حركة الرواسب نحو الفتحات الموجودة في الباطن، وينجم عن ذلك التحرك نشوء الفتحات السطحية.
* حدوث عملية الرطوبة والجفاف وتكرارها، وعملية التعرية المائية واختلاف مستوى

المياه يؤدي إلى ضعف المواد غير الصلبة وبالتالي إلى انهيارها.

* تسرب مياه الأمطار الغزيرة نحو باطن الأرض عبر الشقوق الصغيرة الموجودة في السطح يؤدي إلى تعرية الصخور وإحداث فتحات وأنابيب في الصخور.
* قيام الإنسان بأي نشاط في الطبقة السطحية أو تغيير في مجاري المياه والأمطار من جهتها الأصلية إلى جهة أخرى يؤثر على التربة والطبقة السطحية أو تحت السطحية، كذلك فإن تسرب المياه من البرك والأنابيب ومصاريف المياه والمجاري، والري، والسقي، والبالوعات، قد يؤدي إلى وجود فتحات أو انهيارات أرضية.
* المشروعات والمنشآت الكبيرة والتفجيرات في باطن الأرض وتحت السطح تؤثر على السطح. وكذلك إقامة المنشآت الثقيلة ذات الحمولة العالية فإنها قد تؤدي إلى تحرك التربة نحو الباطن وحدوث الانهيارات نتيجة للضغط العالي.
* إزالة النباتات أو الأعشاب ذات العروق الطويلة فإن ذلك يعطي فرصة للمياه السطحية لتتسرب نحو الباطن من خلال الشقوق في التربة. كذلك يؤدي إزالة الأشجار والنباتات إلى تفكك التربةوعدم تماسكها وبالتالي إلى تسرب المياه السطحية نحو الباطن محدثاً شقوقاً وأنابيب باطنية ينتج عنها انهيار الطبقة السطحية التي فوقها.
* استخراج الثروات الطبيعية السائلة والصلبة من باطن الأرض، فذلك يؤدي إلى ضعف الطبقات الباطنية والحاملة للطبقات السطحية فينتج عنه هبوطات وانهيارات أرضية وفتحات مختلفة الأحجام في سطح الأرض.

لقد حدثت انخفاضات وانكسارات وشقوق وفتحات في وجه الأرض بأحجام متباينة في مناطق مختلفة في العالم، ويعتبر الإنسان بطريق مباشر أو غير مباشر عاملاً رئيساً في حدوثها. ولمزيد من التوضيح سوف نقوم بذكر بعض الظواهر التي حدثت نتيجة لنشاط الإنسان وأماكن وأسباب حدوثها.

هبوط الأرض نتيجة لاستخراج السوائل: Subsidence due to fluid withdrawal

إن استغلال السوائل (ماء، غاز، وبترول) المخزونة في باطن الأرض وضخها

بكميات كبيرة تفوق كمية تغذية الخزان الجوفي الذي يتم منه سحب المادة السائلة نتج عنه انخفاضات وانكسارات وشقوق وفتحات في سطح الأرض في مناطق وبيئات مختلفة من العالم. كما أن الاعتماد على المياه الجوفية لأغراض الري والسقي في المناطق الزراعية وكذلك للشرب في المناطق الكثيفة بالسكان نتج عنه انخفاض في منسوب المياه الجوفية، وكذلك أدى إنتاج الزيت والغاز بكميات كبيرة لغرض الطاقة وغيرها إلى انخفاض كمية الزيت أو الغاز المخزونة في باطن الأرض.

إن انخفاض كمية السوائل على اختلاف أنواعها في جوف الأرض يؤدي إلى انخفاض ضغط السوائل (Fluid Pressure) في الطبقة التي توجد بها السوائل وبالتالي يحدث انخفاض أو هبوط أرضي. وكما هو معروف فإن السوائل في الأرض تكوّن ضغطاً عالياً وتستطيع أن تحمل المواد التي فوقها، وهي شبيهة بالحجر الذي يرمي في بركة فإنه يبدو خفيفاً جداً أثناء رفعه في الماء ولكن إذا سحبت المياه من البركة فإن الحجر يصبح ثقيلاً والواقع أن الماء كان يحمل الحجر. وهبوط الأرض أو انخفاضها يحدث بنفس الطريقة حيث إن جذب السوائل من الخزانات الأرضية يؤدي إلى تلاصق وتلاحم الحبيبات والذرات المكونة للرواسب الباطنية وضغط بعضها على بعض (Grain to Grain Load) تلك الحبيبات والذرات التي كانت في السابق مملوءة بالسوائل ولكنها أصبحت فارغة بعد استخراج السوائل منها فأدى ذلك إلى تلاحمها وتلاصقها ومن ثم إلى هبوط المنطقة التي فوقها[١١]. وقد هبطت مناطق عديدة من العالم نتيجة لضخ السوائل على اختلاف أنواعها من باطن الأرض بكميات كبيرة تفوق مقدار تغذية الخزان. وسوف نستعرض بعض الأمثلة لهبوط وانخفاض سطح الأرض نتيجة لسحب المياه الجوفية والزيت والغاز.

هبوط الأرض نتيجة لجذب المياه الجوفية: Subsidence due to Groundwater withdraw

إن ضخ المياه الجوفية لأغراض الزراعة المختلفة أو للشرب بكميات كبيرة تفوق كميات تغذية الخزانات الباطنية بالمياه (Recharge) يؤدي إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية (Aquifer). وقد أدى انخفاض منسوب المياه الجوفية في مناطق عديدة

من العالم إلى هبوط مساحات شاسعة من الأرض من ذلك ما حدث في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا وآسيا وأفريقيا وخاصة في المناطق التي تعتمد فيها الزراعة بشكل رئيسي على المياه الجوفية أو التي تشكل المياه الجوفية فيها مصدراً مائياً أساسياً لسكان المدن الكثيفة السكان. فقد انخفضت عدة مناطق من الأرض نتيجة لسحب المياه الجوفية نذكر منها بعض الأمثلة:

. انخفاض الأرض في الولايات المتحدة الأمريكية: Subsidence in U. S. A

لقد انفخضت الأرض في مناطق مختلفة من الولايات المتحدة الأمريكية وخاصة في المناطق التي تعتمد على المياه الجوفية مثل ولاية كاليفورنيا، وولاية تكساس، وولاية نيفادا، وولاية جورجيا وولاية أريزونا.

يعتبر الري عنصراً أساسياً في الإنتاج الزراعي في ولاية كاليفورنيا وتستخدم المياه الجوفية كثيراً في ري وسقي المحاصيل الزراعية المختلفة. وقد أدى ضخ المياه الجوفية بكميات كبيرة ولمدة طويلة إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية حوالي ١٠٠ قدم (٣٠ مترا). والنتيجة الطبيعية لانخفاض مستوى المياه الجوفية هو انخفاض الأرض التي فوقها لذا هبطت الأرض في كل من منطقة مدينة لوس بوينس ـ كتلمان (Los Bonos-Kettleman City Area). ومنطقة واسكو ـ تولر (Tulare-Wasco-area)، ومنطقة لانكاستر (Lancaster Area)، ومنطقة ماريكوبا ـ آرفين صـ A-rvin-Mariscopa Area)، ومنطقة وادي سانتا كلارا (Santa Clara Valley Area). كما هو موضح في الشكل رقم ١[11].

ويختلف مقدار انخفاض الأرض في كاليفورنيا من مكان لآخر حسب كمية المياه المسحوبة وكمية المياه التي تغذي الخزانات الجوفية.

ففي منطقة الوادي الأوسط في كاليفورنيا (The Central Valley of California) تقدر المساحة الهابطة بأكثر من ٥٠٠٠ كم٢، وقد هبطت الأرض بمعدل حوالي ٣ر. من المتر في منطقة مدينة لوس بوينس ـ كتلمان ـ (Los Bonos - Kettleman City Area) وبمعدل ٣ أمتار في منطقة تقدر مساحتها بحوالي ١١٣ كم٢ وأعظم

شكل رقم (١) مناطق الهبوط الأرضي في كاليفورنيا



المصدر / Poland, 1976

هبوط وصل إلى ٨ر٣ متر. كما هبطت الأرض في وادي سانتا كلارا (Santa Clara Valley) في مساحة قدرها ٦٤٧ كيلومتراً مربعاً، وقد بلغ أقصى انخفاض حوالي ١٣ قدماً في منطقة سان أوزيه (San Jose area). وقد أشارت الدراسات إلى أن هبوط الأرض في المنطقة بدأ منذ عام ١٩٢٠م وأن هناك علاقة كبيرة ما بين هبوط الأرض في منطقة سان أوزيه وهبوط مستوى المياه الجوفية نتيجة لضخ المياه الجوفية لأغراض الزراعة المختلفة. فقد بدأ ضخ المياه من باطن الأرض في عام ١٩١٦ وارتفع

الاستهلاك من تسعة وأربعين مليون متر مكعب من المياه (٤٩٠٠٠٠٠٠ م٣) إلى مائة وتسعة وثمانين مليون متر مكعب من المياه (١٨٩٠٠٠٠٠٠م٣) في السنة خلال الستينات.

ونتيجة لضخ المياه بكميات كبيرة انخفض الضغط الجوفي للمياه أكثر من **٧٥** متراً وكان مجموع حجم الرواسب التي هبطت حوالي عشرة ملايين متر مكعب (١٠٠٠٠٠٠٠م٣). وقد نتج عن هبوط الأرض حدوث أضرار جسيمة وكبيرة للمباني والمنشآت والطرق والقنوات في منطقة وادي سانتا كلارا تقدر بملايين الدولارات الأمريكية. كما تقدر الأضرار التي أصابت الآبار في المنطقة بأكثر من **٤** ملايين دولار، وتقدر تكلفة إقامة الحواجز على طول الساحل الجنوبي من خليج سان فرانسيسكو لحماية المنطقة من الفيضانات بحوالي **٩** ملايين دولار أمريكي[١٢]. وقد انخفضت الأرض في منطقة واسكو- تولر (Tular - Wasco area) حوالي **٨** أقدام ما بين عامي **١٩٢٦** وعام **١٩٦٥**. وهبطت الأرض حوالي **١٢** قدماً في منطقة ماريكوبا - أرفين - Arvin- Marricopa area كما حدث هبوط في منطقة تقع إلى الشمال الشرقي من جبال سان جبريل San Gabriel Mountains في كاليفورنيا، وتقدر مساحة الأرض الهابطة بحوالي **٤١٥** كم٢، ويقدر هبوط الأرض في منطقة لانكستر بأكثر من **٣** أمتار[١٣]. ومن الأمثلة السابقة يتضح أن هبوط الأرض في مناطق مختلفة من كاليفورنيا يرجع إلى انفخاض منسوب المياه الجوفية نتيجة لاستخدامها في أغراض الزراعة المختلفة بكميات تفوق كميات التغذية المائية للخزانات الجوفية. وللتخفيف من انخفاض الأرض في كاليفورنيا تم جذب المياه لأغراض الزراعة من شمال كاليفورنيا في عام **١٩٧٣** للأجزاء الشمالية من وادي سان جواكين. وقد نتج عن هذا المشروع ارتفاع منسوب المياه الجوفية في المنطقة وبالتالي إلى توقف انخفاض الأرض[١٤].

وقد وقعت أيضاً عدة انخفاضات في الولايات المتحدة خارج ولاية كاليفورنيا نتيجة لضخ المياه الجوفية بكميات كبيرة. فقد حصل انخفاض في منطقة هيوستن - جالستون في ولاية تكساس (The Houston-Galveston region of Texas)

صورة ١ . وتعتبر هذه المنطقة من المناطق التي استنزفت فيها المياه الجوفية خلال الأربعين السنة الماضية، وقد بدأ هبوط الأرض في عام ١٩٤٣ خاصة في وسط ضاحية بسادينا (The subrub of Pasadena) ، وقد تأثرت منطقة تقدر مساحتها بحوالي ٣٧٣ كم٢ وبلغ معدل انخفاض الأرض حوالي ٣ر. من المتر ولكن المعدل ازداد بعد عام ١٩٤٣ وكذلك ازدادت مساحة الأرض المنخفضة. وفي عام ١٩٥٤ بلغ معدل الانخفاض الأرضي حوالي ٢ر١ متر وقد نتج عن هذا الانخفاض دمار المناطق الساحلية وجعلها معرضة للفيضانات وكذلك أثر على الآبار العميقة المبطنة والمحفورة في المنطقة. وتقدر الخسارة الناجمة عن انخفاض الأرض والتي وقعت على الممتلكات الخاصة بأكثر من ٣٠ مليون دولار أمريكي(١٥).

كذلك حصل هبوط في مناطق أخرى من أمريكا نتيجة لانخفاض منسوب المياه الجوفية في كل من لاس ـ فيجاس في ولاية نيفادا (Las Vegas Nevada). فقد انخفضت الأرض حوالي ١٣ قدماً ومنطقة سافانا بولاية جورجيا (Savana, Georgia) كما هبطت منطقة ألوى ـ بيكاكو بولاية أيرزونا (The Eloy-Picacho area, Arizona) الواقعة على بعد ١٢٤ كم إلى الشمال الشرقي من مدينة توسان حوالي ٣ أمتار و٦و٠ من المتر منذ عام ١٩٠٥(١٦).

الانخفاض الأرضي في مدينة مكسيكو: Subsidence in Maxico City

انخفضت أجزاء من مدينة مكسيكو (Maxico City) نتيجة لانخفاض منسوب المياه الجوفية في المنطقة. وقد ازداد عدد سكان المدينة من أقل من نصف مليون نسمة في عام ١٨٩٥ إلى مليون في عام ١٩٢٠ وإلى ٥ ملايين عام ١٩٦٠ ثم إلى ١٠ ملايين نسمة في عام ١٩٧٥. هذه الزيادة السريعة في عدد سكان مدينة مكسيكو أدت إلى زيادة الطلب على المياه الجوفية وضخها بكميات كبيرة تفوق كمية تغذية الخزانات الجوفية من المصادر المائية الطبيعية كالأمطار. فعلى سبيل المثال وصلت كمية معدل ضخ المياه في اليوم في الخمسينات من القرن الحالي حوالي ٨٠٠٠٠٠ متر مكعب من المياه بينما معدل التغذية السنوية للخزان الجوفي في نفس الفترة تقدر بحوالي ٢٠٠٠٠٠

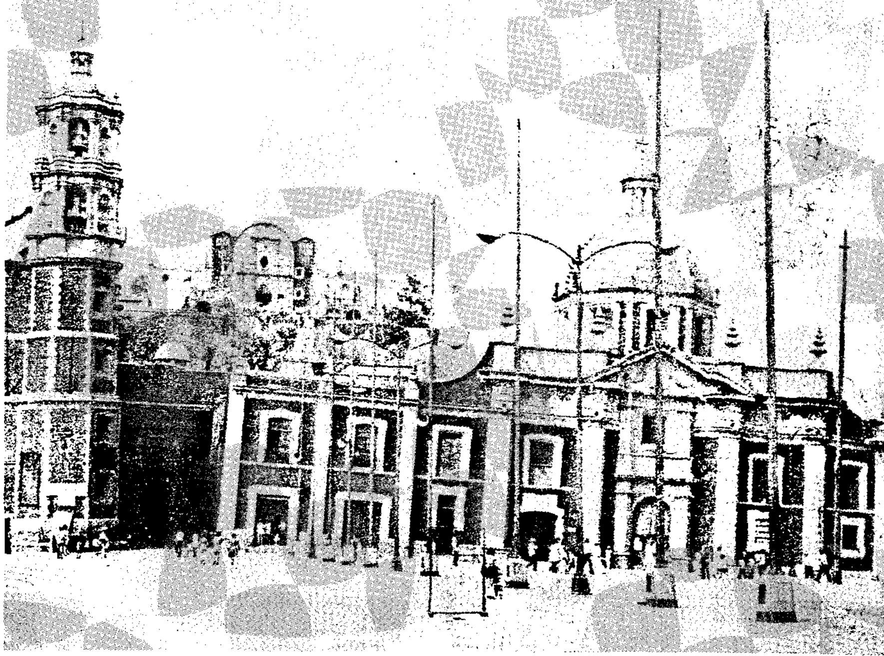
متر مكعب لليوم. فزيادة عدد السكان أدت إلى زيادة الطلب على المياه الجوفية وإلى انخفاض منسوبها ونتج عن ذلك انخفاض الأرض، وقد بلغ الانخفاض في بعض المناطق حوالي ٧ أمتار. وكان لهبوط الأرض في مدينة مكسيكو الأثر الكبير على شبكة تصريف المياه والمجاري والطرق وسكك الحديد والمنشآت والمباني في المنطقة. ومن أهم المباني التي تأثرت بانخفاض مدينة مكسيكو قصر الفنون الجميلة (The Palace of fine arts) الذي بني في عام ١٩٣٤، فقد هبط ٣ أمتار وحدث ميلان في المبنى (صورة ٢) نتج عنه هبوط بعض السلالم دون مستوى سطح الأرض، وهي التي كانت فوق مستوى سطح الأرض عند إنشاء المبنى. وقد حاولت السلطات المكسيكية الحد



صورة (١) مساكن في منطقة خليج جالفستون بولاية تكساس، وقد انخفضت الأرض في هذه المنطقة حوالي ٢,٤ متر نتيجة لضخ المياه الجوفية بكميات كبيرة

(after, Coates, 1979 p 171)

من هبوط الأرض في المنطقة بجلب المياه للمدينة من المناطق المحيطة بها. وكذلك قامت السلطات المكسيكية بحقن الخزانات الجوفية في مدينة مكسيكو عن طريق الآبار لرفع منسوب المياه الجوفية[١٧].



صورة (٢) توضح الصورة الميلان الجانبي للمبنى نتيجة لانخفاض الأرض في مدينة مكسيكو
(after, Oliver, 1979 p 550)

انخفاض فينيسيا (البندقية) في إيطاليا : Subsidence in Venice, Italy

تم إنشاء مدينة فينيسيا في وسط بحيرة واسعة ضحلة على ساحل البحر الإدرياتيكي في القرن السابع للميلاد، وقد نمت المدينة خلال العصور المختلفة، فقد شيدت المباني وأقيمت المصانع فيها وفي المناطق المحيطة بها. وقد أثبتت الدراسات والبحوث أن مدينة فينيسيا تهبط نحو البحر بمعدلات مختلفة وأن هذا المعدل قد زاد بشكل ملحوظ. وذكر برجينز (Berghinz, 1971) في مقالته «فينيسيا

تهبط نحو البحر» (Venice in sinking into the sea) أن فينيسيا تهبط بمعدل ٢٥ر. من البوصة في السنة وأن هذا المعدل يزداد سنوياً كما هو واضح من الجدول التالي :

السـنة	مجموع الهبوط (بوصـة)	معدل الهبوط السنوي (بوصة)
١٩٠٨ـ١٩٢٥	٠,٧	٠,٠٤ـ
١٩٢٦ـ١٩٤٢	١,٥	٠,٠٩
١٩٤٣ـ١٩٥٢	١,٤	٠,١٤
١٩٥٣ـ١٩٦١	١,٨	٢٠و٠

وقد أرجع برجينز هبوط مدينة فينيسيا إلى عدة أسباب منها: تحرك الصخور الباطنية فوق المواد غير الثابتة التي تشكل قاع البحيرة، وانفجار الغاز في دلتا نهر بو (Delta Po River)، وضخ المياه الجوفية بكميات كبيرة، وإقامة المشاريع والمصانع والمباني في المنطقة. وقد أشار برجينز إلى أن ضخ المياه الجوفية بكميات كبيرة للأغراض المختلفة يعتبر من أهم الأسباب في انخفاض منطقة فينيسيا، فجذب المياه الجوفية بكميات كبيرة أدى إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية وبالتالي إلى انخفاض ضغط المياه الجوفية تحت المواد الرسوبية. فالمياه الجوفية كانت ركناً رئيساً في حمل الطبقات العليا، ولكن عندما انخفض منسوبها انخفض ضغط المياه وفقدت المواد الرسوبية جزءاً مهماً من القاعدة الأساسية التي كانت تحملها وتساندها فأدى ذلك إلى هبوطها.

وتهبط مدينة فينيسيا بمعدل صغير كما هو واضح من الجدول إلا أنه يشكل خطراً على المدينة إذا علمنا أن ٧٠٪ من مساحة مدينة فينيسيا يقع على ارتفاع ما بين ٣,٥ ـ ٤,٥ أقدام فوق سطح البحر. فانخفاض الأرض يهدد المباني والآثار في المنطقة بالخراب والدمار، ويؤدي إلى انخفاض الأرض عن مستوى البحر وهذا يعتبر مشكلة وخاصة في تصريف مياه الأعاصير والأمطار ومياه مجاري المدينة والمناطق المحيطة بها، وكذلك يساعد انخفاض فينيسيا على تعمق المد نحو الداخل وارتفاعه

في البحيرة. إن انخفاض مدينة فينيسيا وما حولها وإن كان بمعدل صغير يشكل خطراً على المدينة وخاصة أنها تطل على البحر. ولتخفيف هبوط فينيسيا أو التخفيف منه فقد تم التقليل من سحب المياه الجوفية في عام ١٩٧٠ ثم أوقف تماماً في عام ١٩٧٥. وارتفع منسوب المياه الجوفية وقل معدل انخفاض المنطقة.

الانخفاض الأرضي في إنجلترا واليابان : Subsidence in England and Japan

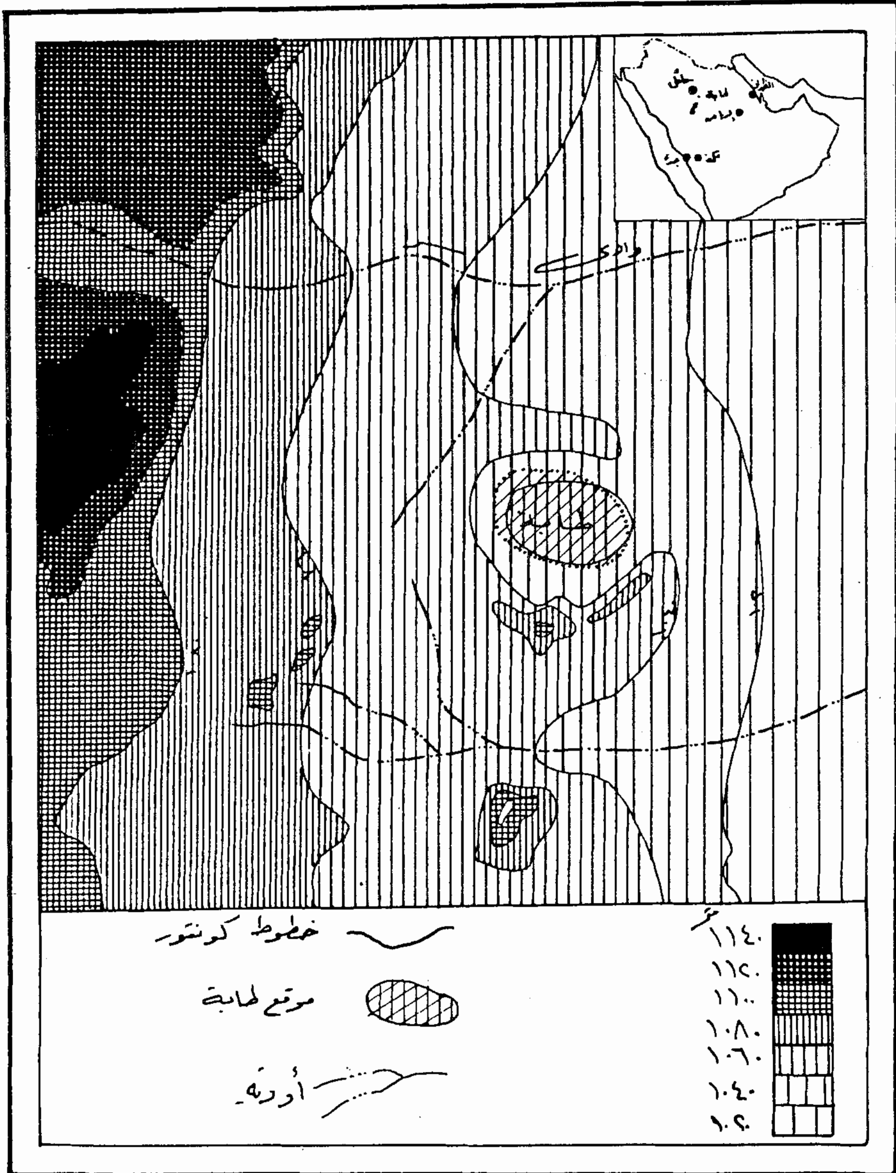
انخفضت الأرض في انجلترا واليابان نتيجة لانخفاض المياه الجوفية. وقد بدأ انخفاض منسوب المياه الجوفية في (لندن ، إنجلترا) في عام ١٩٢٠، واستمر الانخفاض ووصل إلى ٧,٥ أمتار في عام ١٩٤٣ و ١٠٠ متر في عام ١٩٦٣م، ونتج عن استمرار انخفاض المياه الباطنية انخفاض الطبقة السطحية التي فوقها بحوالي ٢٠,. من المتر. وكذلك أدى ضخ المياه الباطنية بكميات كبيرة في اليابان إلى حدوث بعض الهبوط الأرضي في كل من مدينة طوكيو ومدينة أوساكا اليابانية[١٨].

التشقق والتصدع في طابة بالمملكة العربية السعودية : Subsidence in Tabah, S. A.

تقع قرية طابة تقريباً على دائرة العرض ٥١ ـ ٢٧ْ شمالاً وخط الطول ١٠ ٤٢ شرقاً وإلى الجنوب الشرقي من مدينة حائل بالمملكة العربية السعودية، وتحيط بها المرتفعات البركانية من جميع الجهات (شكل ٢). ويقدر عدد سكانها بحوالي ٤٠٠ نسمة وتتألف طابة من المزارع الصغيرة والمساكن المبنية من الطين واللبن (صورة ٣و٤).

تعتمد الزراعة في طابة اعتماداً كلياً على المياه الجوفية الموجودة في باطن الأرض. وفي السنوات الأخيرة ازداد ضخ المياه الجوفية عن طريق الآبار العادية والارتوازية، وأدت هذه الزيادة إلى انخفاض مستوى المياه في الآبار. وقد ذكر أحد مواطني طابة

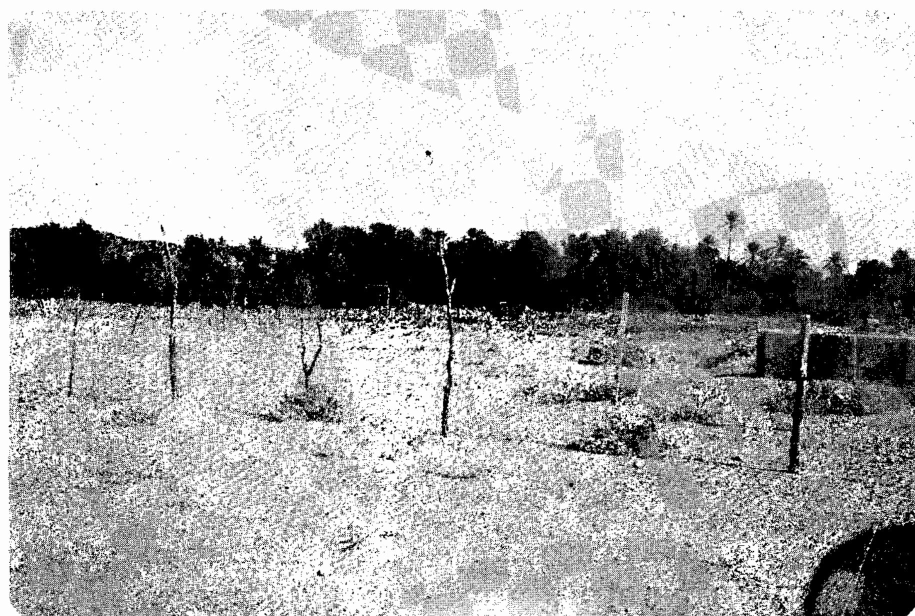
شكل رقم (٢) موقع وطبوغرافية منطقة طابة



المصدر وزارة الشئون البلدية والقروية.



صورة (٣) منظر لمدينة طابة



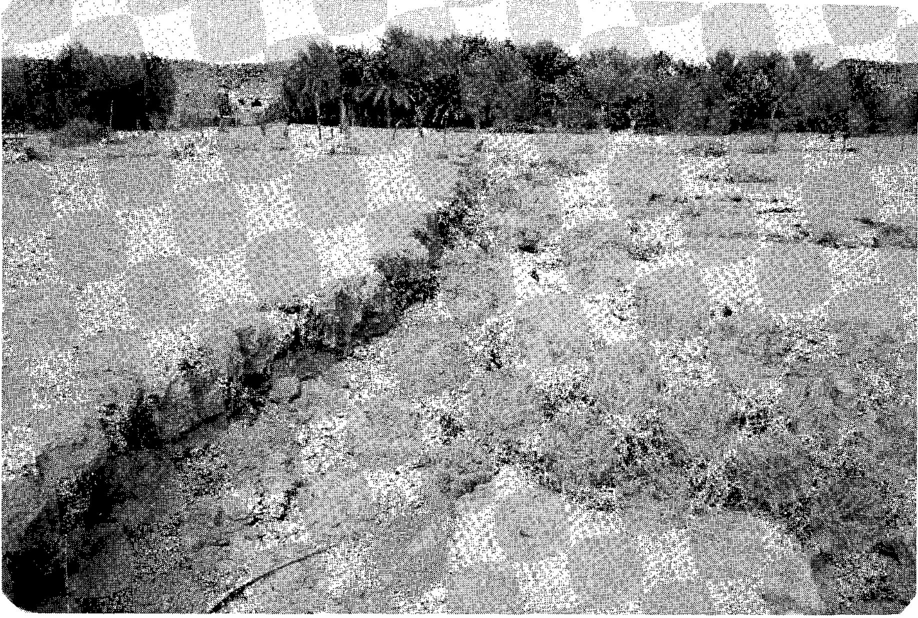
صورة (٤) منظر لمزارع النخيل في طابة

والذي تحدث معه الكاتب أثناء زيارته للمنطقة أن مستوى المياه في الآبار كان مرتفعاً في السابق ولكن بدأ منسوبه ينخفض حتى أن بعض الآبار غير العميقة جفت. ونتيجة لاستمرار ضخ المياه الجوفية وعدم وجود مصدر طبيعي مستمر كالأمطار يغذي المياه الجوفية ويعوض عن الكميات المسحوبة منها؛ انخفضت المياه الجوفية وصاحبها انخفاض في ضغطها. ولقد أدى انخفاض منسوب المياه في المنطقة إلى نشوء فراغات وفتحات بين الذرات الصغيرة والحبيبات المكونة للطبقة والتي كانت تشغلها المياه قبل ضخها ولكنها أصبحت فارغة بعد ضخ المياه مما أدى إلى ضغط الحبيبات المكونة للطبقة بعضها على بعض وانكماشها وأصبحت مقاومتها لضغط الطبقات العليا التي فوقها ضعيفة مما أدى إلى حدوث انكسارات وشقوق باطنية، وأثر ذلك على الطبقة العليا فحدثت صدوع وشقوق في سطح الأرض وبشكل واضح في وسط القرية حيث تقع المزارع والمساكن ويمكن أن يلاحظها الشخص العادي، كما ظهر أثر هذه الشقوق على جدار المقبرة الموجودة في منطقة التصدع (صورة ٥، ٦، ٧، ٨) وبعض



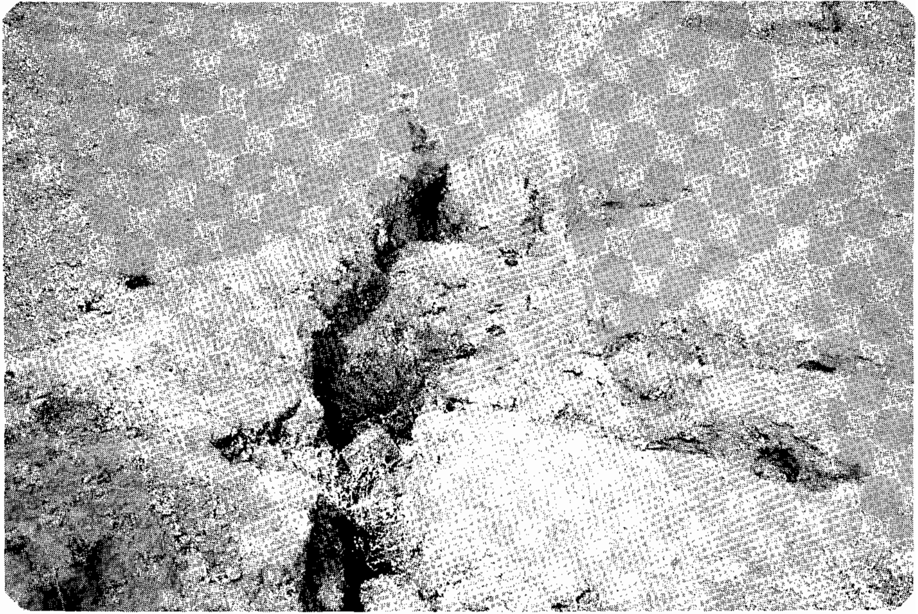
صورة (٥) بعض مناظر تصدع وتشقق سطح الأرض في طابة في المملكة العربية السعودية

المبـاني. ولكن لم يصـاحب هذه التصدعات والتشققات هبوط أو انخفاض أرضي واضح (Subsidence Surface)، ولا يعرف ما إذا كان هناك هبوط في المنطقة أم لا لأن عملية الهبـوط الأرضي تتم ببطء ولفترة طويلة وتحتاج إلى رصد وتسجيل دقيق لارتفاع المنطقة، وذلك يتم بوضع علامات ارتفاع لقياس ارتفاعها باستمرار ولفترة طويلة.

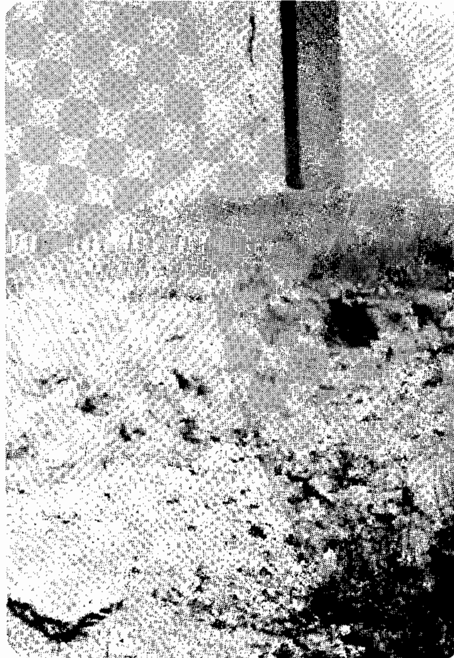


صورة (٦) بعض مناظر تصدع وتشقق سطح الأرض في طابة في المملكة العربية السعودية

إن ظهور التصدعات والتشققات الأرضية في طابة لا يشكل خطراً جسيماً في الوقت الحاضر ولم ينتج عنه أضرار على الأرواح، ولكن هذه التشققات والتصدعات قد تزيد نتيجـة لاستمـرار ضخ المياه الجـوفية لأغـراض الزراعة أو الشرب. وقد أفاد أحد المواطنين بأن السيول التي تتكون في المنطقة أثناء وبعد سقوط الأمطار تتسرب بسرعة نحو باطن الأرض عبر هذه الشقوق. وهذا في الواقع يعتبر خطراً على الأرض والمياه الجوفية، فتسرب مياه السيول بكميات كبيرة عبر هذه الشقوق قد يؤدي إلى توسع الشقـوق وفتح مجاري وقنوات باطنية، أو إلى ذوبان الصخور والتكوينات المختلفة



صورة (٧) تصدع أرضي في طابة



صورة (٨) تصدع الأرض وجدار المقبرة في طابة

القابلة للذوبان التي في طريقها فيضعف تماسك التربة وتتسبب في حدوث فتحات جديدة في سطح الأرض (Sinkholes) وهبوط الطبقة السطحية. والأمر الآخر الذي قد يحصل نتيجة تسرب مياه السيول عبر هذه الشقوق هو تلوث المياه الجوفية وتغير نسب تركيبها نتيجة لذوبان الصخور المختلفة المكونة للطبقة والتي تجري خلالها المياه القادمة من سطح الأرض، أو نتيجة لتلوث مياه السيول بمخلفات وبقايا

الحيوانات المنتشرة في المنطقة مما يجعلها غير صالحة للشرب في منطقة التصدع.

وهناك عدة حلول يمكن أن تتخذ لتجنب المزيد من التصدع أو حدوث شقوق أو انخفاض في المنطقة في المستقبل.

أولاً : عدم ضخ المياه الجوفية في طابة والبحث عن مصدر آخر للمياه قريب من المنطقة.

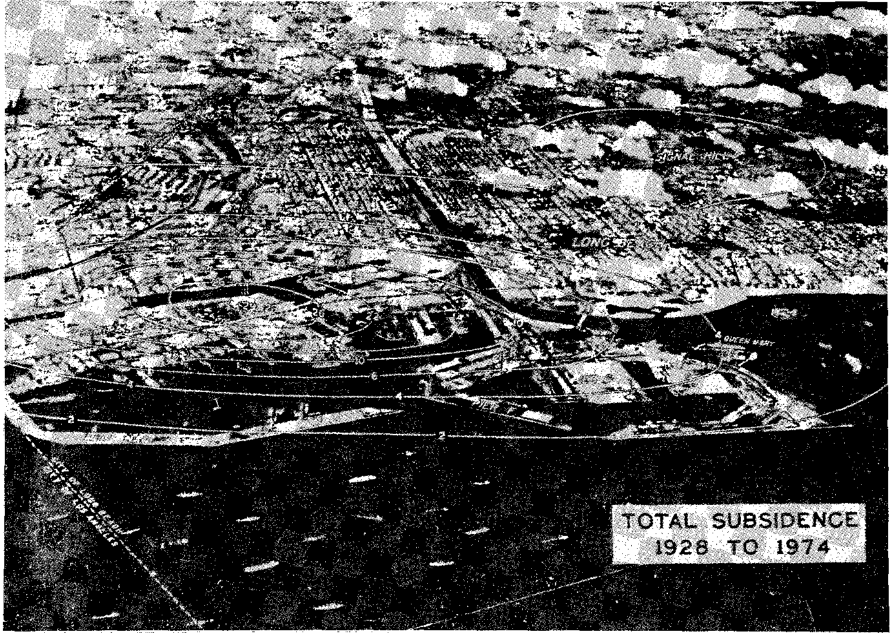
ثانياً : التقليل من استخدام المياه الجوفية بأقصى حد ممكن ويتم ذلك بإرشاد المواطنين والمزارعين إلى أهمية المياه وعدم الإسراف في استخدامها.

هذه الحلول تعطي فرصاً لارتفاع منسوب المياه الجوفية في طابة، أما بشأن التصدعات والشقوق الموجودة حالياً في المنطقة فيمكن ردمها واستصلاحها بالطرق العلمية المعروفة حتى لا تساعد على حدوث قنوات وأنابيب باطنية نتيجة لذوبان الصخور المكونة للطبقة والتي تضعف من صلابتها مما يؤدي إلى انهيار الطبقة التي فوقها. وكذلك سيؤدي ردمها إلى منع تسرب مياه السيول الملوثة نحو المياه الباطنية في المنطقة هذا التسرب الذي يجعل تلك المياه غير صالحة للشرب أو لسقي وري المزارع الموجودة في طابة.

انخفاض الأرض في مناطق إنتاج الزيت : Subsidence in the oil fields

لقد حدث هبوط أرضي في مناطق إنتاخ الزيت والغاز في جهات مختلفة من العالم. وهبوط الأرض نتيجة لإنتاج الزيت أو الغاز قد يكون بطيئاً ويستغرق وقتاً أطول من الهبوط الأرضي الناجم عن ضخ المياه الجوفية. وقد لوحظ أول هبوط أرضي في مناطق إنتاج الزيت في الولايات المتحدة الأمريكية في عام **١٩٢٥** في حقل جوزكريك للزيت في ولاية تكساس (Goose Creek oil field, Texas)، وشمل هذا الانخفاض منطقة تقدر مساحتها بحوالي **٢٥**كم^{2} وبلغ أقصى انخفاض في المنطقة حوالي متر واحد، ومن الدراسة اتضح أن هناك علاقة بين انخفاض الأرض واستخراج الزيت

في المنطقة. وقد حدث انخفاض أرضي نتيجة لاستخراج الزيت في منطقة ساحل لوس أنجلس بولاية كاليفورنيا. فقد هبطت الأرض في حقل ويلمنجتون للزيت في منطقة هاربر ـ لونج بيتش بولاية كاليفورنيا (Wilmington oil field in the harbor area, California) بالقرب من مدينة لوس أنجلس، وقد بدأ الانخفاض الأرضي في عام ١٩٤٠. وبلغ في عام ١٩٧٤م حوالي ٩ أمتار، وخاصة في وسط المنطقة[٢٠] (صورة ٩).



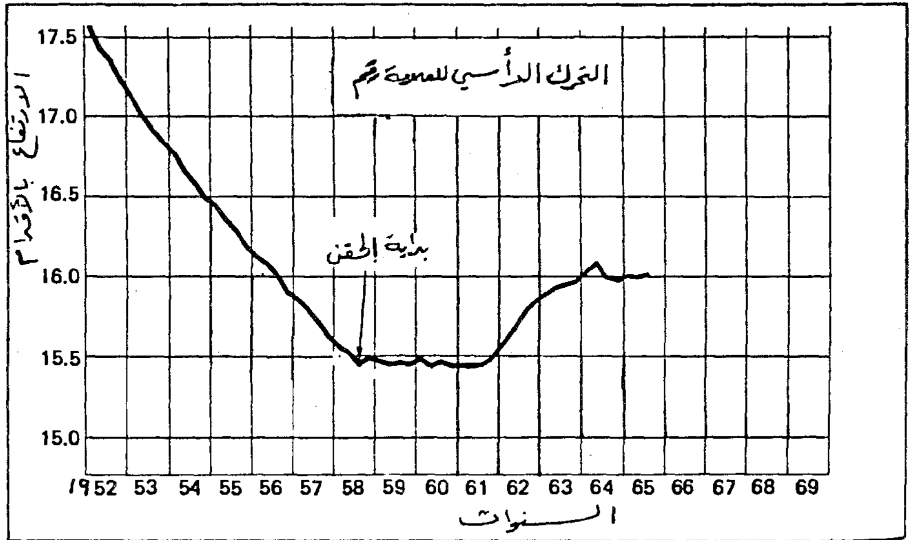
صورة (٩) صورة جوية توضح الإنخفاض الجوي في منطقة خليج لونج بيتش بولاية كاليفورنيا ما بين عامى ١٩٢٤ و ١٩٧٤ ويقدر الإنخفاض بما بين ٩ أمتار في المركز، و ٦,. من المتر في المناطق البعيدة عن المركز (after, Keller. 1979. p. 147)

وهبطت الأرض في منطقة حقل إنجلوود للزيت (Engle wood oil field). ما بين عامي ١٩١٧ ـ ١٩٦٣ حوالي ٩,٧ أقدام نتيجة لضخ الزيت بكميات كبيرة. وقد كان لانخفاض الأرض في منطقة حقول الزيت أثر سيء على المباني والطرق

والمنشآت والآبار الموجودة في المنطقة، وتقدر الخسارة الناجمة عن انخفاض الأرض في هذه الحقول بمئات الملايين من الدولارات الأمريكية. وقد ذكر بولاند[21] نقلاً عن البحث الذي أعده ثلاثة من الخبراء هم: جنسن، وديكلاكث جوردن، وجيمس وشيلد في عام ١٩٦٧ (Janson, Duklcth, Gorden, James and shield, 1967) ذكر أن هناك علاقة كبيرة ما بين انهيار سد بالدوين هيل في ولاية كاليفورنيا (Baldwin Hill Dam, California) وانخفاض منطقة حقل إنجلوود للزيت والتي تبعد حوالي ٨٠٠ متر من السد، ويعتبر انخفاضها سبباً رئيساً في انهيار السد، وقد نجم عن انهيار سد بالدوين أضرار جسيمة في الأرواح والممتلكات فقد دمر السد أثناء انهياره كل ما في طريقه من مبانٍ ومنشآت وطرق.

وفي خارج نطاق الولايات المتحدة الأمريكية حصل انخفاض أرضي في مناطق إنتاج الزيت والغاز في كل من فنزويلا، وإيطاليا، واليابان. ففي فنزويلا هبطت الأرض في منطقة حقول الزيت بالقرب من بحيرة ماراكايبل (The oil field of lake marcaible, Venezuela) وقد بدأ هذا الانخفاض الأرضي في عام ١٩٢٣، وفي عام ١٩٥٤ بلغ هبوط الأرض في بعض المناطق حوالي ٣,٣ أمتار. كما هبطت الأرض في إيطاليا نتيجة لاستخراج الغاز في منطقة بو دلتا (Po Delta Italy) وقد بدأ إنتاج غاز الماثين (Mathene Gas) في عام ١٩٥١ وتقدر مساحة الأرض الهابطة بحوالي ٨٠٠كم^{2}، كذلك حدث هبوط أرضي نتيجة لاستخراج غاز الماثين (Mathene Gas) في نيجاتا باليابان (Nigata, Japan).

إن انخفاض كمية السوائل في باطن الأرض يؤدي إلى انخفاض ضغط السوائل في الباطن مما يؤدي إلى تقارب مكونات الطبقة وضغط بعضها على بعض، وزيادة ضغط السوائل يخفف من تقارب مكونات الطبقة وضغط بعضها على بعض ويخفف من هبوط الأرض أو يوقفه تماماً. وللتخفيف من هبوط الأرض نتيجة لاستخراج الزيت يمكن حقنها بالمياه، فعلى سبيل المثال تم في عام ١٩٥٨م حقن آبار إنتاج الزيت في منطقة ويلمنجتون بالمياه للتخفيف من هبوط الأرض. وقد اظهرت عملية حقن الآبار بالمياه نتائج طيبة كما هو واضح في الشكل ٣. وقد أوضحت مجموعة من



شكل (٣) توقف هبوط الأرض نتيجة لحقن السوائل في منطقة لونج بيتش بكالفورنيا (after, Poland, 1976)

الخرائط لمنطقة ويلمنجتون أعدت من قبل قسم الزيت بمدينة لونج بيتش (City of Long Beach) أن أوضحت انخفاض الأرض قد توقف في معظم منطقة ويلمنجتون للزيت نتيجة لحقن الآبار بالمياه.

هبوط الأرض نتيجة لاستخراج الثروات الطبيعية الصلبة : Subsidence due to the Underground Extraction of Rocks and Minerals

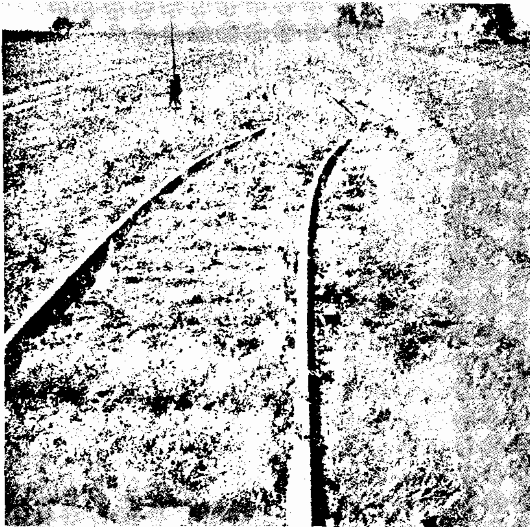
إن استخـراج المعـادن المختلفـة من باطن الأرض والتي تعتبر جزءاً من الحامل الطبيعي للطبقة السطحية، بغض النظر عن نوع المعدن، قد يؤدي إلى هبوط الأرض أو إلى حدوث انهيار في السطح وخاصة عندما يكون المعدن المستخرج قريباً من سطح الأرض. وينتج عن الانهيارات الأرضية في مناطق التعدين وفاة عدد كبير من البشر، أو حدوث الخـراب والـدمار للمباني والشوارع ومصادر المياه، وأنابيب المجاري في المناطق المأهولة بالسكان. والانهيارات الأرضية التي تقع في مناطق التعدين قد تؤثر

على مجاري المياه الطبيعية، لأنها تسمح بتسرب المياه السطحية الملوثة نحو الباطن وخاصة في مناطق التعدين مما يؤدي إلى تلوث المياه الباطنية. وهذه المياه الملوثة ترجع إلى السطح مرة ثانية إما عن طريق الضخ، أو عن طريق الجاذبية[٢٤]، وفيما يلي استعراض لبعض الانخفاضات الأرضية في بعض مناطق التعدين وخاصة في مناطق الفحم والملح، وأثر هذه الانخفاضات الأرضية على المنشآت والمباني الموجودة في مناطق التعدين.

هبوط الأرض في مناطق مناجم الفحم : Subsidence in the Coal Mines

تحدث الخسوفات والانهيارات الأرضية في مناطق مناجم الفحم، وفي الولايات المتحدة وحدها تبلغ مساحة مناطق التعدين حوالي ٢٨٠٠٠ كم^{٢}، منها ٣٠٠٠ كم^{٢} مناطق هبوط، وكان الأمر أعظم خطراً في مناطق العمران حيث وقع فيها حوالي ٧٪ من مجموع الهبوط الأرضي في أمريكا (صورة ١٠).

وتعتبر مناطق مناجم الفحم مناطق خطر على الأرواح والممتلكات، ففي عام ١٩٦٨ حصل خراب ودمار للشوارع والجسور والمياه وأنابيب الغاز والمساكن والكنائس نتيجة لهبوط الأرض في منطقة وايكز - بري في ولاية بنسلفانيا (Wilkes - Barre, Pennsylvania). وفي عام ١٩٦٠ حدث تصدع وانكسار في كولديل في ولاية بنسلفانيا (Coa dale Pennsylvania) مما أدى إلى دمار



صورة ١٠ سكة الحديد في منطقة مناجم للفحم في كلورادو ويلاحظ تأثر سكة الحديد بالانخفاض الأرضي في المنطقة (after, Coates, 1979)

حوالي ٢٣ مسكناً. وفي يناير من عام ١٩٧٣ وفيها كان بعض سكان ويلز يقودون سياراتهم في أحد الطرق، هبط الطريق محدثاً فتحة على الأرض عمقها ١٠ أمتار[٢٥].

وتعتبر مناطق مناجم الفحم مناطق خطر على الأرواح والممتلكات، ففي عام ١٩٦٨ حصل خراب ودمار للشوارع والجسور والمياه وأنابيب الغاز والمساكن والكنائس نتيجة لهبوط الأرض في منطقة وايكز ـ بري في ولاية بنسلفانيا (Wilkes - Barre, Pennsylvania). وفي عام ١٩٦٠ حدث تصدع وانكسار في كولديل في ولاية بنسلفانيا (Coa dale Pennsylvania) مما أدى إلى دمار حوالي ٢٣ مسكناً. وفي يناير من عام ١٩٧٣ وفيها كان بعض سكان ويلز يقودون سياراتهم في أحد الطرق، هبط الطريق محدثاً فتحة على الأرض عمقها ١٠ أمتار[٢٥].

وتعتبر مناطق تعدين الفحم في الولايات المتحدة مناطق خطر وذلك لتعرضها للهبوط والتصدع الأرضي. ففي غرب الولايات المتحدة حدث هبوط في منجم روكي سبرينج في ولاية وايمنج (Rock Springs, Wyoming) ويقع هذا المنجم ما بين ٣ ـ ٩٠ متراً تحت سطح الأرض، وقد بدأ هبوط سطح المنجم في يناير ١٩٦٨م، ونجم عن هبوط الأرض أضرار جسيمة للمساكن والطرق والخدمات العامة بالمدينة (صورة ١١)[٢٦].

هبوط الأرض في مناطق إنتاج الملح : Subsidence in the Salt Mines

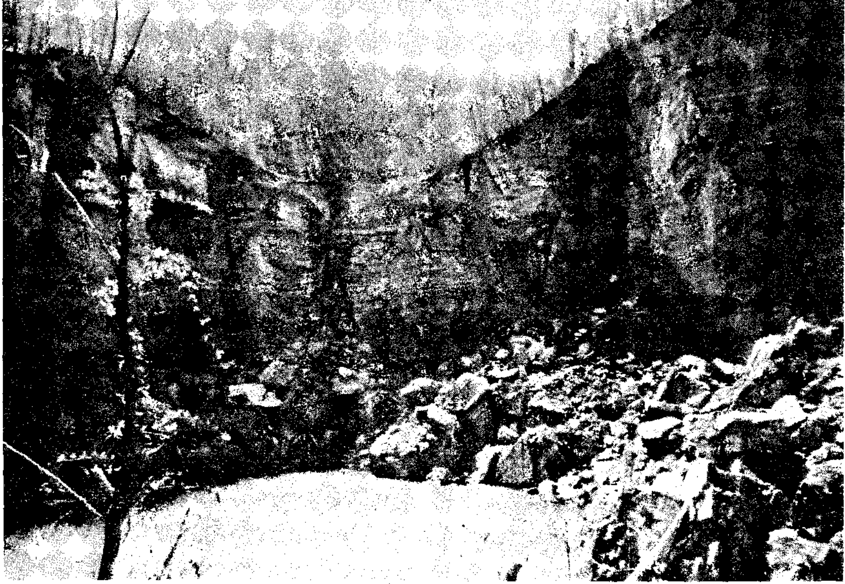
إن استخراج الأملاح من الأرض يؤدي إلى حدوث أضرار جسيمة نتيجة للطريقة غير العلمية المستخدمة في إخراجه وكذلك لاستخراجه بكميات كبيرة، ويترك استخراج الملح خلفه فجوات باطنية تحت السطح. ونتيجة لوجود الفجوات في الأرض تصبح الطبقة السطحية ضعيفة ومهددة بالانكسار والهبوط لفقدان الحامل لها. وعلى سبيل المثال أدى استخراج الأملاح إلى هبوط أرضي وحدوث فتحات في سطح الأرض بالقرب من ديترويت بولاية ميتشجن بالولايات المتحدة (Detroit, Michgan, U. S. A.) وبلغ عرض الفتحة الهابطة حوالي ١٢٠ متراً وعمقها ٩٠



صورة (١١) انخفاض الشارع وتهدم الرصيف وتغير مجاري تصريف المياه نتيجة لانخفاض الأرض في منطقة منجم الفحم في روك سيرينج في وايمغن بسبب استخراج ا لفحم بكميات كبيرة (after, Coates, 1979)

متراً، كما أدى استغلال الأملاح بالقرب من سلتفيال في ولاية فرجينيا (Saltivell, Verginia)إلى هبوط حوالي ٧٥ متراً من سطح الأرض (صورة ١٢). ونتج عن هذا الهبـوط سقـوط منزلين وخرابهما[٢٧]. كما حصلت انهيارات أرضية في مناطق تعدين الأملاح بالقرب من كاشير في انجلترا (Chashire, England)، ولقد بدأ استغلال الأملاح في القرن الثامن عشر واستمرت بعض المناجم الملحية أكثر من ٤٠ سنة قبل أن تبدأ الفتحات الصخرية في الحدوث (Rockt Pit Hole). وقد حدث انهيار

سطحي في منجم أدليدا (Adelaide Mine) في عام ١٩٢٨. وتعتبر الانهيارات السطحية في مناطق تعدين الأملاح خطراً على المباني، والمزارع، والأنابيب ووسائل المواصلات والمنشآت الموجودة في المنطقة[٢٨].

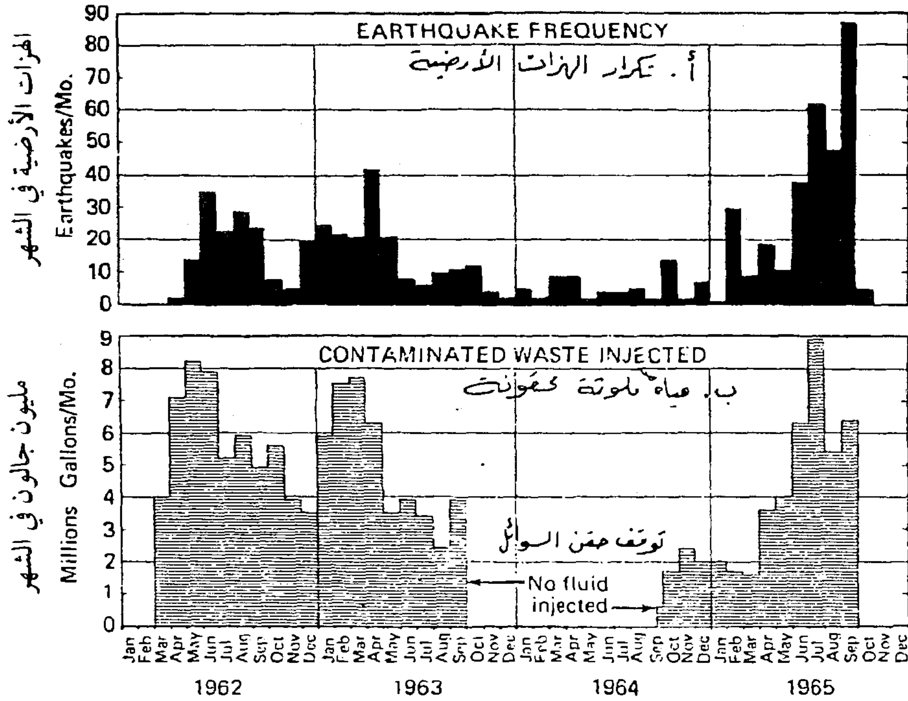


صورة (١٢) حفرة كبيرة هابطة نتيجة لاستخراج الملح من منجم الملح بالقرب من سلتينال بولاية فرجينيا (after, Keller, 1979)

حدوث الزلازل والبراكين نتيجة لحقن المياه الموثة في باطن الأرض: Earthquakes due to Waste fluid injection in the Earth

يؤدي حقن الابـار العميقة بالسوائل الملوثة (كالمخلفات الكيميائية) إلى تصدع المنطقة المحقونة أو إحداث الزلازل، والهزات الأرضية الخفيفة فيها[٢٩]. وقد حدثت هزات ورعشات وتصدعات أرضية في مناطق مختلفة من العالم نتيجة لحقن السوائل الملوثة في باطن الأرض، فعلى سبيل المثال وقعت هزات أرضية بالقرب من مدينة دنفر في ولاية كلورادو (Denver Clorado) ويقدر عددها بأكثر من ٦٠٠ زلزال وهزة أرضية ما بين عامي ١٩٦٢ و ١٩٦٥ كما هو موضح في الشكل ٤. وبلغ أقوى زلزال

شكل (٤) : (أ) يوضح عدد الهزات الأرضية التي سجلت في الشهر في منطقة دنفر.
(ب) مقدار الماء الملوث المحقون في البئر (after, Evans, 1979)



٤,٣ درجـات بمقياس ريختر (Richter). وقد أقلقت هذه الهزات والرعشات الأرضية حكومة وسكان مدينة دنفر فاجتمع ممثلون من روى مكفيكر في كلورادو (Roy MC Vicker of Clorado) ودعوا إلى دراسة أسباب حدوث الهزات الأرضية في المنطقة. وفي مارس من عام ١٩٦١ أعلنت مصلحة المساحة الجيولوجية الأمريكية (U. S. Geological) نتـائـج الـدراسـات التي قامت بها بالتعاون مع مدرسة كلورادو للتعدين في دنفر (Clorado school of Mines, Denver survey)، ولقد أوضحت الدراسات أن المياه الملوثة التي تم حقنها في البئر العميقة في منطقة جبال روكي الصناعية (The Rocky Mountain Arsenal) كانت السبب في حدوث الـزلازل والهـزات الأرضية الخفيفـة التي تقـع في الشـمال من مدينـة دنفـر منـذ

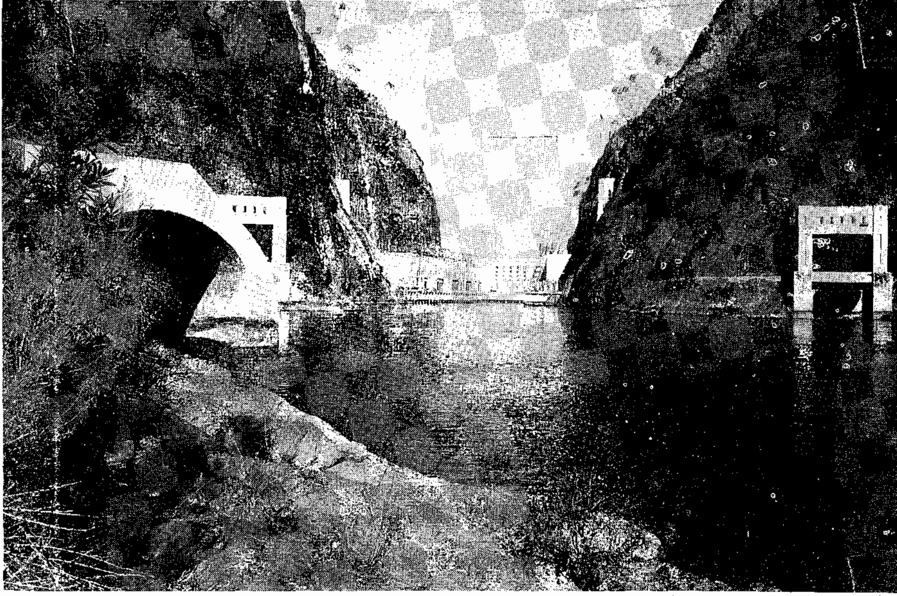
عام ١٩٦٢ .[٣٠] وقـد سجلت عدة هزات أرضية ضعيفة بالقرب من حقل رانجلي للزيت (Rangly Oil field Colorado) في الشمال الغربي من كلورادوا .

ولمعرفة مدى تأثير السوائل الملوثة المحقونة على حدوث الهزات الأرضية تم حقن حقل الزيت رانجلي بالسوائل الملوثة وأقامت مصلحة المساحة الأمريكية (Rangly Oil field Colorado) في عام ١٩٦٧ أربعـة مراصـد (سيسموجراف) متنقلة في المنطقة وحول حقل الزيت المحقون لتسجيل الهزات الأرضية لمدة عشرة أيام تلك الهزات التي قد تنتج عن حقن البئر بالسوائل الملوثة . وقد سجلت المراصد الأربعة خلال فترة التسجيل أكثر من ٢٠ هزة أرضية ضعيفة ومحلية[٣١] .

الهزات الأرضية نتيجة لوجود كميات كبيرة من المياه خلف السدود :

Earthquakes due Reservoirs Fillings

تتجمـع مياه الأمـطار بكميات كبـيرة خلف السدود وتكوّن ضغطاً على الطبقة الحاملة لها نتيجة لثقلها فيؤدي زيادة الضغط الناشىء عن وزن المياه في الخزان خلف السـد إلى تهشم الصخـور الحاملة للخزان مما يؤدي إلى حدوث حركات أو هزات أرضية ، وتختلف قوة هذه الحركات أو الهزات الأرضية حسب كمية المياه المخزونة . وقد حدثت عدة هزات ورعشات أرضية في مناطق مختلفة من العالم نتيجة لوجود المياه بكميات كبيرة خلف السدود . فعلى سبيل المثال ، سجل أكثر من ٦٠٠ هزة أرضية في منطقة الحدود ما بين أريزونا ونيفادا خلال عشر سنوات منذ تأسيس سد هوفر (Hover Dam) في عام ١٩٣٥ والذي يزود بحيرة ميـد (Mead Lake) بالمياه (صـورة ١٣) . ومعـظم هذه الهـزات كانت محلية وخفيفة ولكن واحدة منها بلغت قوتها ٥ درجات واثنتان بلغت كل منهما ٤ درجات[٣٢] . وفي اليونان سجلت عدة هزات أرضية في منطقة سد مارثون (Marathon Dam) الذي ملىء بالماء في عام ١٩٢٩ . وقد سجلت أول هزة أرضية في عام ١٩٣١ ووقعت حركتان في عام ١٩٣٨ ، وبلغت قوتها ٥ درجات[٣٣] . وفي الهند وقعت حركتان في منطقة كونا بالهند (Koyna, India) ، في عام ١٩٦٧ . وبلغت قوة إحداهما ٦,٥ درجة ، وقد تسببت الهزة في وفاة حوالي



صورة (١٣) لخزان وسد هوفر في منطقة الحدود بين ولاية أيرزونا ونيفادا في الولايات المتحدة الأمريكية.

٢٠٠ شخص وأحدثت الدمار والخراب للممتلكات الموجودة في المنطقة، وقد بلغت كمية المياه المخزونة خلف السد حوالي مليوني متر مكعب في عام ١٩٦٢ و ١٩٦٣، وقد بدأت الهزات الأرضية في المنطقة في عام ١٩٦٣. وفي زامبيا أيضاً حصلت عدة هزات أرضية في منطقة بحيرة كاريبا جورج في نهر زامبازي (Lake Kariba in the Kariba George of the Zambezi Rivers). وفي ٩ أكتوبر من عام ١٩٦٣م وقعت كارثة في منطقة سد فايونت في إيطاليا (Vaiont Dam, Italy) تسببت في فقدان أكثر من ٢٦٠٠ شخص، وقد وقعت هذه الكارثة نتيجة لوجود كميات هائلة من المياه خلف السد أدت إلى تشبع الصخور الباطنية بالمياه والضغط على الصخور الباطنية الحاملة للخزان، وارتفاع منسوب المياه الباطنية في المنطقة. هذه العوامل أدت إلى ضعف الصخور الحاملة للخزان والمحيطة به مما نتج عنه انحدار الصخور العظيمة على جانبي السد نحو خزان المياه خلف السد بسرعة تقدر بحوالي ٢٥ - ٣٠ متراً في

الثانية. هذا الانحدار السريع للصخور التي بلغ حجمها أكثر من ٢٤٠ مليون متر مكعب نحو الخزان أحدث كتلة هوائية وصل ارتفاعها حوالي ٢٤٠م وموجة مائية بلغ ارتفاعها حوالي ١٠٠ متر فوق مستوى السد[٣٤].

وكذلك وقعت هزات أرضية نتيجة لتجمع المياه بكميات كبيرة خلف السدود في كل من مونينارد وجراندفل في فرنسا (Monteynard and Grandvale , France) ومنجلا في باكستان (Mangla, Pakistan)، وفي هندريك فرود بجنوب أفريقيا (Handrick verwoerd in South Africa) وفي كوراب وكمافوزيان في اليابان (Kurabe and Kamafusain, Japan) ، وفي هينفجكينج في الصين (Hsin-fengkian, China) إن الأمثلة السابقة للهزات الأرضية في مناطق السدود توضح مدى العلاقة بين حدوث الهزات الأرضية المحلية وكمية المياه الموجودة خلف السدود، فهذه الهزات والحركات الأرضية المحلية تحدث نتيجة لتكسر أو تهشم الطبقة الصخرية الحاملة للخزان نتيجة للضغط العظيم الذي ينجم عن ثقل المياه المخزونة خلف السدود أو نتيجة لتشبع الطبقات الحاملة للسد بالمياه مما يضعفها ويجعلها غير قادرة على مقاومة الضغط الناشيء عن زيادة حجم المياه مما يؤدي إلى انهيارها.

الهزات الأرضية نتيجة للتفجيرات النووية :

Earthquakes due to Nuclear Explosions

إن التفجيرات النووية على اختلاف قوتها تؤدي إلى حدوث هزات أرضية مختلفة القوة في مناطق التجارب النووية، وذكر باكيسر وزملاؤه[٣٦] أن رويال والمتعاونون معه (Royall and his co-workers) قد سجلوا عدة هزات أرضية نتيجة للتفجيرات النووية في باطن الأرض في منطقة وكالة الطاقة النووية في ولاية نيفادا (Atomic Energy Commissions Nevada Testsite) وقد قام رويال والمتعاونون معه بدراسة انفجار الشاحنة الصندوقية في عام ١٩٦٨ (The Box car explosion) ، وأشاروا إلى أن الانفجار أحدث آلاف الهزات في الشمال الشرقي من المنطقة بطول

١٢ كم وعرض ٤ كم. وقبل التفجير النووي الباطني في بنهام (Benham) عام ١٩٦٨، قامت مصلحة المساحة الجيولوجية الأمريكية بوضع محطة تسجيل للزلازل تتكون من ٢٧ مرصداً للزلازل سيسمرجراف (Seismorgrahp) في منطقة نيفادا للتجارب النووية، وقد سجلت آلاف الهزات بعد حدوث الانفجار النووي ولكنها ليست قوية ولا تتجاوز قوتها ٥ درجات على مقياس ريختر.

خاتمة

يقوم الإنسان بنشاطات مختلفة بهدف إعمار الأرض والتمتع بالخيرات التي خلقها الله ووضعها في باطن الأرض وأمره باستقلالها. وقد قام الإنسان بتشجير الأراضي الصحراوية وشق الطرق وحفر القنوات المائية، وأقام المباني والمنشآت، واستخرج الثروات الطبيعية السائلة والصلبة الموجودة في باطن الأرض ولا شك أن لنشاط الإنسان المختلف آثاراً سلبية تهدده وممتلكاته والكائنات الحية الأخرى بالخطر. ومن الآثار التي تحدث نتيجة لنشاط الإنسان حدوث انهيارات وتشققات وانخفاضات أرضية وكذلك انهيار السدود وحدوث هزات ورعشات أرضية تهدد المناطق التي حولها وما عليها من سكان ومبان وطرق وسدود. وقد حدث العديد من الانهيارات والتشققات والتصدعات الأرضية، وانهار عدد من السدود وحدثت هزات أرضية في مناطق مختلفة من العالم كان لها آثار سيئة على ما حولها. وللحد من الانهيارات والانخفاضات الأرضية وانهيار السدود والهزات الأرضية والتقليل من خطرها على الأرواح والممتلكات يمكن اتخاذ ما يلي :

- الحد من التوسع الزراعي في المناطق شحيحة المياه التي يلاحظ فيها انخفاض منسوب المياه.
- ترشيد استخدام المياه في جميع الأغراض الزراعية والصناعية والعمرانية وغيرها من الأغراض.
- عدم إقامة مبانٍ ومنشآت بالقرب من المناطق التي ينخفض فيها منسوب المياه الجوفية.
- عدم إقامة مبانٍ ومنشآت بالقرب من مناطق استخراج البترول والغاز.
- عدم إقامة مبانٍ ومنشآت وطرق بالقرب من مناطق التعدين.
- عدم حقن مخلفات المصانع الكيميائية والمياه الملوثة في باطن الأرض حتى لا يحدث

تفـاعـلات كيميائية وبالتالي تحدث هزّات أرضية قد تشكل خطراً على السكان والمنشآت والمباني في المنطقة.

- عند إقامة منشآت كالسدود يجب دراسة طبيعة المنطقة الجيولوجية والجغرافية المقام بها السد ومعرفة قدرة طبقات الأرض على تحمل ثقل السد والمياه التي سوف تتجمع في خزانة بعد سقوط الأمطار. ودراسة مسامية التربة وخصائصها دراسة جيدة.
- عدم إقامة سدود بالقرب من مناطق التفجير.
- في حالـة ظهـور بوادر لانهيار أرضي أو انهيار سد يجب معرفة السبب. فإن كان - مثلاً - انخفاض منسوب المياه الجوفية فيجب منع ضخ المياه من البئر والبحث عن مصدر آخر وذلك لاعطاء الخزان الجوفي فرصة للاستعاضة وعودة مياهه إلى منسوبها السابق. وفي حالة ظهور بوادر لانهيار سد يجب اخلاء منطقة السد والمناطق التي تقع في طريقه من السكان حتى لا تداهمهم مياه السد الغزيرة في حالة انهياره. ويجب إصلاحه وتدعيمه ودراسة سبب تخلخله وإزالة هذا السبب.

وختاماً، أرجو أن نستفيد من الأحداث السابقة ونتجنب الأسباب التي أدت إلى حدوثها.

الهوامش

1 . Lamoreaux and Warren, 1976.
2 . Poland, 1976.
3 . Beck, 1986.
4 . Keller, 1979; white et al , 1986; Lamoreaux and Newton, 1986; and Coates 1979.
5 . Keller, 1979 and Coates 1979.
6 . Poland, 1976.
7 . White et al, 1986; and Lamoreaux and Newton, 1986.
8 . Lamoreaux and Warren, 1976.
9 . Coates, 1979.
10. Poland, 1976; Keller, 1979; and Coates, 1979.
11. Poland, 1976.
12. Coates, 1979.
13. Polar, 1976 and Oliver, 1979.
14. Coates, 1979.
15. Coates, 1979.
16. Oliver, 1979.
17. Dunne and Leopold, 1978.
18. Coates, 1979.
19. Coates, 1979.
20. Keller, 1979.
21. Poland, 1976.
22. Poland and Davids, 1969.
23. Poland, 1976.
24. U. S. Department of the Interior, 1976.
25. Keller, 1979.
26. Coates, 1979.
27. Keller, 1979.
28. Coates, 1979.
29. Keller, 1979.
30. Evans, 1976.
31. Pakieser et al, 1976.
32. Killer, 1979.
33. Coates, 1979.
34. Kierch, 1976.
35. Coates, 1976.
36. Pakiser et al, 1976.

المراجع

Beck, Barry F., G 1986, A Generalized Genetic Framework for the Development of Sinkholes and Karst in Florida, U. S. A. Environ. Geol. Water. Sci Vol. 8, No. 1/2, 5-18. Environmental Geology and Sciences Water Volume 8, Number 1/2, 1986.

Berghinz Carlo, 1976, Venice is Sinking into the Sea in Focus on Environmental Geology, ed, by Ronald W. Tank, 2nd edition, New York, Oxford University Press. 512 - 518.

Coates, Donald R. 1979, Subsurface Influences in Man and Environmental Processes, ed. by K. J. Gregory and D.E. Walling. W. M. Dawson Folkestone, Kent, England. PP. 163-188.

Dreyer, Boyd V. and Clyde E. Schulz, 1986 Evaluation, Repair and Stabilization of the Boling sinkhole. Environ. Geol. Water Sci Vol. 8, No. 1/2 pp. 19 - 23.

Dunne, Thomas and Luna B. Leopold, 1978, Water in Environmental Planning. San Francisco, W. H. Freeman and Company.

Evans, David M. 1976, Man-Made Earthquakes in Denver, Edited by Ronald Tank. 2nd Edition New York Oxford University Press, Inc. pp. 89-100.

Ghetti, Augusto and Michel Batisse, The Overall Protection of Venice and its Lagoon, Natur and Resources, Vol. XIX, No. 4, October-December, 1983. pp.7-19.

Keller, Edward, A. 1979. Environmental Geology. 2nd Edition. Bell & Howell Company. Columbus.

Kiersch, George A. 1976, The Valiont Reservoir Disaster, Ed. by Ronald Tank. 2nd Edition. New York. Oxford University Press, Inc. pp. 132-143.

Lamoreaux, Philip E. and William M. Warren, 1976, Sinkhole, ed. by Ronald Tank. 2nd Edition New York, Oxford University, Press Inc. pp. 179-180.

Lamoreaxux, Philip E. and J. G. Newton, 1986. Catastrophic Subsidence: An

Environmental Hazard, Shelby Country, Alaboma. Environ. Geol. Water. Sci. Vol. 8. No. 1/2 p. 25-40.

Oliver, E. John, 1979, Physical Geography, Principles and Applications. Duxbury Press North Scituate, Massachusetts.

Pakiser, L.C., J.P. Eaton, J.H. Healy, and, C.B. Raleigh, 1976, Earthquake Prediction and Control, ed. by Ronald Tank. 2nd Ed. New York, Oxford University Press, Inc. pp. 100-110.

Poland, Joseph F. 1976, Land Subsidence in Western United States, in Focus Environmental Geology, Ed. by Ronald W. Tank, 2nd Ed. New York, Oxford University Press in p. 351.

U. S. Department of the Interior, 1976, Surface Mining, Its Nature, Extent, and Significance, Ed. by Donald Tank, 2nd Edition, New York, Oxford University Press Inc. pp. 328-350.

White, Elizabeth. Gert Aron and William B. White, 1986, The Influence of Urbanization on Sinkhole Development in Central Pennsylvania. Environ. Geol. Water Sci. Vol. 8 1/2 pp. 91-97.